

I-599 弾塑性き裂進展における残留応力の影響について

CRC 総研 正員 渡 辺 隆 之

1. はじめに

近年、非均質材中に存在するき裂の、破壊挙動に関する研究が多くに関心を集めている。また、残留応力が存在する場合での、破壊挙動についても多くの研究が行われている。このような状況の下で、著者は、溶接残留応力を考慮したCT試験片の安定き裂進展解析を行った。本論文では、残留応力を考慮しないときの結果との比較を通して、残留応力がき裂進展に与える影響について考察する。

2. 解析モデルと条件

解析モデルは、図1に示すようなCT試験片を考える。図中の黒い部分は、溶接部を想定している。き裂は $a=29.87\text{mm}$ の初期き裂を考えている。解析は、平面ひずみ条件の下で行った。解析の条件は、移動硬化則、微小変形かつ増分塑性理論に基づいており、き裂の進展方法は、節点解放法を用いて行っている。また、破壊力学パラメータは、経路積分法で求めている。

3. き裂進展条件

き裂進展解析は、変位制御で行い、実験より得られた荷重線変位とき裂進展量($\delta-\Delta a$)の関係をjつて生成型解析を行った(図2参照)。なお、き裂の進展開始時の δ の値は、 0.603mm とした。

4. 残留応力の発生

残留応力は、板厚 13mm の小型試験片に対して測定された残留応力¹⁾を、本解析モデルに導入した。計算モデルに対する溶接残留応力は、熱ひずみを初期ひずみとして与えることによって近似的に発生させた。残留応力の発生手順は、1) き裂の無い状態で残留応力を発生させる、2) 残留応力が発生した後、節点解放法を用いて初期き裂を導入した。このような手順で求めた残留応力の分布を、図3に示す。なお、本解析に用いた材料データおよびFEM解析の詳細は、文献2)、3)を参照されたい。

5. 結果と考察

図4には、FEM解析と実験より得られた荷重-荷重線変位の関係を示す。図中実験値に対して、残留応力を考慮した結果(H5GR)と考慮しない結果(H5G)を同時に示した。図より、残留応力の効果は、比較的小さいことがわかる。なお、実験値は、残留応力を考慮しないデータを用いている。図5には、J積分値と Δa の関係を、示した。図中、J積分は次のことを意味している。J_{exp}: 実験値、J_{path}とJ_{hpath}: 経路積分によるJと $\uparrow$ 値(残留応力無し)、J_{path-R}とJ_{hpath-R}: 残留応力有りの値。図より、J積分の結果では、残留応力の影響は無いことがわかる。

$\Delta a=2.2\text{mm}$ の位置での値の乱れは、材料境界の影響と考えている。 $\uparrow$ 積分の結果には、残留応力の影響が幾分表れていることがわかる。図6には、き裂先端開口角と Δa の関係を示した。図より、残留応力を考慮したCTOA-Rの結果は、残留応力を考慮しない結果と比較して有意な差が認められない。以上の結果より、残留応力の影響は、部分的に表れることがあるが、全般的には小さいことがわかる。本研究では、疲労に関する検討を行っていないことを付記する。

最後に本研究は、電力会社、原子力メーカー、米国NRC、マーチンマリエッタ社(Subcontract NO.19X-SD561)からの資金援助のもとに、(社)日本溶接協会のEPI小委員会(主査: 矢川東大教授)で行われた研究成果の一部であることを付記する。

参考文献 1) 荒居、EPI小委員会報告書(II)、溶接協会(1990)。2) 渡辺、土木学会45回講概集(1990)、240。3) 渡辺、土木学会46回講概集(1991)、106。

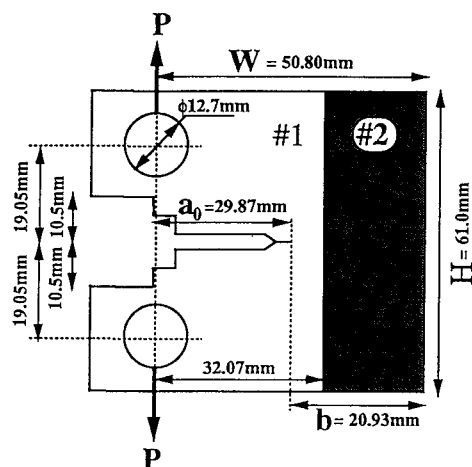


図1 非均質CT試験片

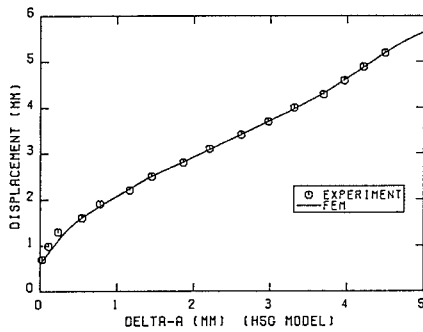


図2 実験より得られた δ - Δa 関係

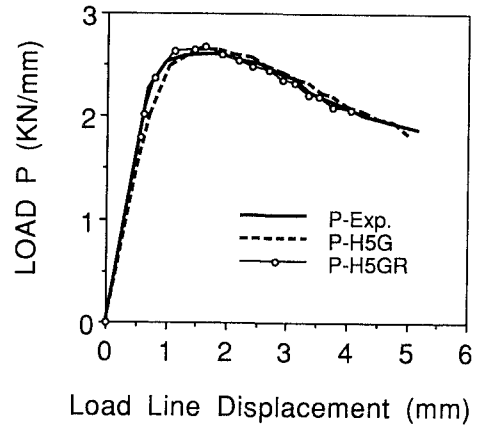


図4 荷重と荷重線変位の関係

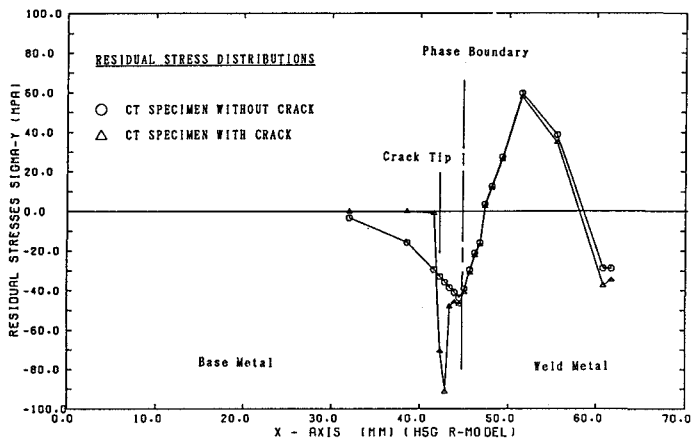


図3 溶接残留応力の分布

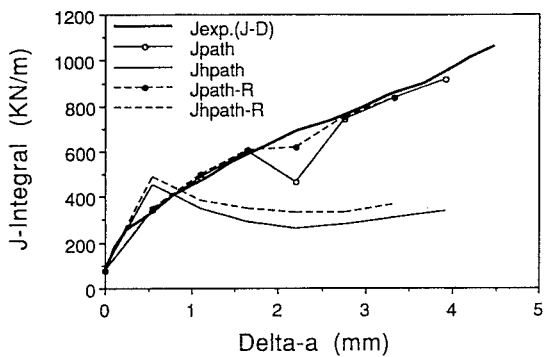


図5 J積分と Δa との関係

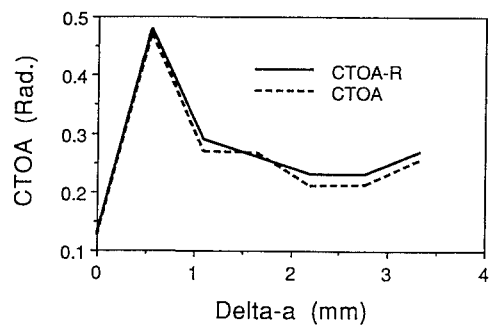


図6 CTOAと Δa の関係